



IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of: Kitagawa

Attorney Docket No.: ALPSP149

Application No.: 10/802,649

Examiner: Not yet assigned

Filed: March 16, 2004

Group: 2859

Title: MACH-ZEHNDER INTERFEROMETER
OPTICAL SWITCH AND MACH-ZEHNDER
INTERFEROMETER TEMPERATURE SENSOR

CERTIFICATE OF MAILING

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the U.S. Postal Service with sufficient postage as first-class mail on March 31, 2005 in an envelope addressed to the Commissioner for Patents, P.O. Box 1450 Alexandria, VA 22313-1450.

Signed: _____

Mia Mitchell-Haynes

TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENTS

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

Transmitted herewith is the certified copy of the priority document for the above-referenced patent application, Japanese Patent Application No. 2003-125352.

The Commissioner is authorized to charge any fees that may be due to Deposit Account No. 500388 (Order No. ALPSP149).

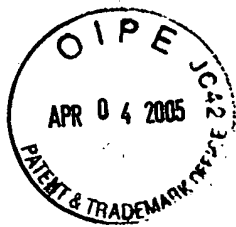
Respectfully submitted,

BEYER WEAVER & THOMAS, LLP

Haruo Yawata

Limited Recognition Under 37 CFR §10.9(b)

P.O. Box 70250
Oakland, CA 94612-0250
(510) 663-1100



**BEFORE THE OFFICE OF ENROLLMENT AND DISCIPLINE
UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

LIMITED RECOGNITION UNDER 37 CFR § 10.9(b)

Mr. Haruo Yawata is hereby given limited recognition under 37 CFR § 10.9(b) as an employee of Beyer Weaver & Thomas, LLP to prepare and prosecute patent applications wherein the patent applicant is the client of Beyer Weaver & Thomas, LLP, and the attorney or agent of record in the applications is a registered practitioner who is a member of Beyer Weaver & Thomas, LLP. This limited recognition shall expire on the date appearing below, or when whichever of the following events first occurs prior to the date appearing below: (i) Mr. Haruo Yawata ceases to lawfully reside in the United States, (ii) Mr. Haruo Yawata's employment with Beyer Weaver & Thomas, LLP ceases or is terminated, or (iii) Mr. Haruo Yawata ceases to remain or reside in the United States on an H-1 visa.

This document constitutes proof of such recognition. The original of this document is on file in the Office of Enrollment and Discipline of the U.S. Patent and Trademark Office.

Expires: January 2, 2007

A handwritten signature in dark ink, appearing to read "Harry I. Moatz", written over a horizontal line.

**Harry I. Moatz
Director of Enrollment and Discipline**

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 4 月 3 0 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 1 2 5 3 5 2
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 1 2 5 3 5 2]

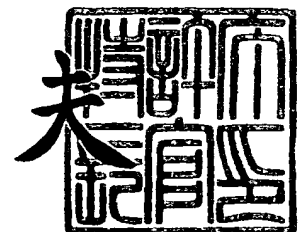
出 願 人 アルプス電気株式会社
Applicant(s):

CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

2 0 0 4 年 3 月 1 8 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 AB02045

【提出日】 平成15年 4月30日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G01K 11/12

【発明の名称】 マッハツェンダー干渉計型温度センサ

【請求項の数】 4

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区雪谷大塚町 1 番 7 号 アルプス電気株式会
社内

【氏名】 北川 均

【特許出願人】

【識別番号】 000010098

【氏名又は名称】 アルプス電気株式会社

【代理人】

【識別番号】 100064908

【弁理士】

【氏名又は名称】 志賀 正武

【選任した代理人】

【識別番号】 100108578

【弁理士】

【氏名又は名称】 高橋 詔男

【選任した代理人】

【識別番号】 100089037

【弁理士】

【氏名又は名称】 渡邊 隆

【選任した代理人】

【識別番号】 100101465

【弁理士】

【氏名又は名称】 青山 正和

【選任した代理人】

【識別番号】 100094400

【弁理士】

【氏名又は名称】 鈴木 三義

【選任した代理人】

【識別番号】 100107836

【弁理士】

【氏名又は名称】 西 和哉

【選任した代理人】

【識別番号】 100108453

【弁理士】

【氏名又は名称】 村山 靖彦

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 008707

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9704956

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 マッハツェンダー干渉計型温度センサ

【特許請求の範囲】

【請求項1】 2本の光導波路が2カ所で近接されて方向性結合器が2カ所設けられるとともにこれら方向性結合器間に2本のアーム光導波路が設けられたマッハツェンダー干渉計型温度センサであって、前記2本の光導波路は屈折率温度係数が互いに異符号を示すものであることを特徴とするマッハツェンダー干渉計型温度センサ。

【請求項2】 前記2本のアーム光導波路は、物理的長さが略等しいものであることを特徴とする請求項1記載のマッハツェンダー干渉計型温度センサ。

【請求項3】 前記マッハツェンダー干渉計型温度センサは、
 $\delta / \kappa \leq 0.2$

(式中、 δ は2本の光導波路の伝搬定数差/2、 κ は結合定数)
で示される関係を満たすことを特徴とする請求項1又は2記載のマッハツェンダー干渉計型温度センサ。

【請求項4】 前記2本の光導波路のうち一方の光導波路は、 TiO_2 、 PbMoO_4 、 Ta_2O_5 のうちいずれか1種の屈折率温度係数が負の材料から構成され、他方の光導波路は、 LiNbO_3 、チタン酸ジルコン酸ランタン鉛、 SiO_xN_y のうちいずれか1種の屈折率温度係数が正の材料から構成されている請求項1乃至3のいずれか一項に記載のマッハツェンダー干渉計型温度センサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光導波路を利用したマッハツェンダー干渉計型温度センサ(MZI型温度センサ)係わり、遠隔地点での温度モニタ等に好適に用いることができるMZI型温度センサに関する。

【0002】

【従来の技術】

従来のMZI型温度センサとしては、図9に示すような構成のものが知られて

いる（例えば、特許文献1参照。）。

従来のMZI型温度センサは、シリコン基板上に積層されたクラッド層中に形成された石英系導波路84が途中で複数に分岐され、さらにこれら複数の導波路が2本ずつ再び近接されてマッハツェンダー形導波路部90が複数箇所設けられたものである。

マッハツェンダー形導波路部90は、2本のアーム光導波路部84a、84bを有しており、一方のアーム光導波路部84bの光路長が他方のアーム光導波路部84aの光路長Lより ΔL だけ長くされている。

【0003】

このMZI型温度センサでは、光導波路84の一方の端部（第1の入力ポート92a）から入射した光101は、光導波路84の他方の端部（第2の出力ポート92d）から出射されるが、上記のように2本のアーム光導波路84a、84bは物理的光路長が異なるために温度変化によって第2の出力ポート92dから出射される光強度の変化が生じるようになっている。それは、2本のアーム光導波路84a、84bは物理的光路長が異なるために（但し、屈折率温度係数については同符号である）、雰囲気温度が変化した場合に光を合波する際の位相差に変化をもたらし、温度による出力光103の強度の変化を生じさせるからである。光導波路の出力光強度は温度に対して周期的に変化するが、1周期の中では温度と光強度は1対1に対応しているため光強度から温度を求めることができる。

【0004】

【特許文献1】

特開平7-181087号公報（図9）

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

ところが従来のMZI型温度センサでは、同じ材料から構成した2本のアーム光導波路84a、84bの物理的光路長差 ΔL は、アーム光導波路部84aの光路長Lに対して少しか変えることができないため、温度変化を検知するのに必要な位相シフト量は、温度がある程度高くなると得られないため、温度感度が悪いものであった。同じ材料から構成した2本のアーム光導波路84a、84b

の物理的光路長差 ΔL が小さい理由は、2本のアーム光導波路84a、84bの物理的光路長差 ΔL が大きくなるとセンサが大型化してしまうためであり、また、物理的光路長差 ΔL を大きくした上で、センサを小型化するには、アーム光導波路84bの曲げ角度が大きくなってしまい（曲率半径が小さくなってしまい）、光の損失の問題が生じてしまうからである。

【0006】

本発明は前記事情に鑑みてなされたもので、温度変化量が小さくても温度変化の検知に必要な位相シフト量を得ることができ、温度感度が優れたMZI型温度センサの提供を目的とする。

また、本発明は温度変化量が小さくても温度変化の検知に必要な位相シフト量を得ることができ、温度感度が優れ、しかも小型化されたMZI型温度センサの提供を目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】

本発明のマッハツェンダー干渉計型温度センサ（MZI型温度センサ）は、2本の光導波路が2カ所で近接されて方向性結合器が2カ所設けられるとともにこれら方向性結合器間に2本のアーム光導波路が設けられたMZI型温度センサであって、前記2本の光導波路は屈折率温度係数が互いに異符号を示すものであることを特徴とする。

【0008】

本発明のMZI型温度センサは、屈折率温度係数が互いに異符号を示す2本の光導波路が備えられたことにより、物理的条件を同じにした場合（特に2本の光導波路の物理的長さの差を同じにした場合）、同じ材料から構成した2本の光導波路（言い換えれば屈折率温度係数が同じ材料から構成した2本の光導波路）を用いた従来のMZI型温度センサに比べて、温度が変化したときの2本のアーム光導波路の有効光路長差を大きくでき、伝搬光の位相シフト量も大きくできる。

また、本発明のMZI型温度センサは、温度変化量が小さくても温度変化の検知に必要な伝搬光の位相シフト量を得られるので、同じ材料から構成した2本の光導波路を用いた従来のMZI型温度センサに比べて温度感度が優れる。

また、本発明の M Z I 型温度センサは、上記 2 本の光導波路の材料として屈折率温度係数が互いに異符号を示すものを選択すればよいので、構造や製造工程が簡略であり、量産向きである。

本発明の M Z I 型温度センサは、遠隔地点での温度モニタに好適に用いることができる。

【 0 0 0 9 】

また、本発明の M Z I 型温度センサにおいては、前記 2 本の光導波路は屈折率温度係数が互いに異符号を示すものであるもので、前記 2 本のアーム光導波路は物理的長さが略等しいものであってもよく、かかる構成の M Z I 型温度センサは、同じ材料から構成した 2 本の光導波路を用いた従来の M Z I 型温度センサに比べて 2 本のアーム光導波路の実効光路長差を大きくできる。

また、本発明の M Z I 型温度センサでは、上記のように 2 本のアーム光導波路は物理的長さが略等しいものであってもよいので、2 本のアーム光導波路の物理的長さを互いに異ならした場合よりも 2 本のアーム光導波路を近づけることができ、曲げ角度も少なく済み（曲率半径を大きくでき）、光損失を小さくできるうえ、オフセットもなく、小型化が可能である。このように本発明の M Z I 型温度センサは、コンパクト化が可能であるので、遠隔地点での温度モニタ等に好適に用いることができる。

【 0 0 1 0 】

また、本発明の M Z I 型温度センサにおいては、 $\delta / \kappa \leq 0.2$

（式中、 δ は 2 本の光導波路の伝搬定数差 / 2、 κ は結合定数）

で示される関係を満たすことが、消光比を大きくでき、また、温度分解能を大きくできる点で好ましく、さらに好ましくは $\delta / \kappa \leq 0.1$ なる関係を満たすことが消光比 30 dB 以上とすることができる点で好ましい。 $\delta / \kappa \leq 0.2$ なる関係を満たすには、上記 δ を小さくするか、あるいは上記 κ を大きくすればよい。上記 δ を小さくするには、例えば、光導波路の断面形状を変更すればよい。また、上記 κ を大きくするには、上記方向性結合器のところの 2 本の光導波路の間隔を狭くすればよい。

【 0 0 1 1 】

また、本発明のMZI型温度センサにおいては、上記2本の光導波路のうち一方の光導波路は、 TiO_2 、 PbMoO_4 、 Ta_2O_5 のうちいずれか1種の屈折率温度係数が負の材料から構成され、他方の光導波路は、 LiNbO_3 、チタン酸ジルコン酸ランタン鉛（PLZT）、 SiO_xN_y のうちいずれか1種の屈折率温度係数が正の材料から構成されていてもよい。特に、一方の光導波路の材料として TiO_2 を選択し、他方の光導波路の材料としてPLZTを選択した場合には、屈折率温度係数の差が特に大きく、温度変化が生じた場合に2本のアーム光導波路の有効光路長差を大きくでき、伝搬光の位相シフト量も大きくできる点で好ましい。

【0012】

【発明の実施の形態】

次に図面を用いて本発明の実施の形態を詳細に説明する。

（第1の実施形態）

図1は、本発明に係る第1の実施形態のMZI型温度センサの概略構成を示す平面図であり、図2は図1のII-II線断面図、図3は図1のIII-III線断面図である。

この実施形態のMZI型温度センサは、図1乃至図3に示すようにシリコン等からなる基板2上に積層された下部クラッド層3aと、この下部クラッド層3aの表面に形成された2本の光導波路A、Bと、これら2本の光導波路A、Bと下部クラッド層3aを覆うように積層された上部クラッド層3bとを備えている。

下部クラッド層3aと上部クラッド層3bを構成する材料としては、屈折率は光導波路A、Bを構成する材料の屈折率よりも小さく、しかも屈折率温度係数の絶対値は光導波路A、Bを構成する材料の屈折率温度係数の絶対値よりも小さいものが用いられ、例えば、 SiO_2 が用いられる。

【0013】

下部クラッド層3aの表面に形成された2本の光導波路A、Bは、2カ所で近接されることで2つの3dB方向性結合器13a、13bが設けられるとともにこれら方向性結合器間に2本のアーム光導波路a、bが設けられている。

2本の光導波路A、Bは、屈折率温度係数が互いに異符号を示すものである。

本実施形態では、一方の光導波路Aは、下記式(1)で示される条件を満たす材料、即ち、屈折率温度係数が負の材料から構成されており、例えば TiO_2 、 PbMoO_4 、 Ta_2O_5 のうちから選択される1種が用いられる。

他方の光導波路Bは、下記式(2)で示される条件を満たす材料、即ち、屈折率温度係数が正の材料から構成されており、例えば、 LiNbO_3 、PLZT、 SiO_xN_y のうちから選択される1種が用いられる。なお、 SiO_xN_y の屈折率は1.48~1.9である(yの値が大きくなると(Nが増えると)屈折率が大きくなる)。

光導波路に用いる材料の好ましい組み合わせとしては、光導波路Aの材料として TiO_2 が用いられ、光導波路Bの材料としてPLZTが用いられるのが先に述べた理由により好ましい。

【0014】

$$(\partial N / \partial T)_A < 0 \quad \cdots \text{式(1)}$$

$$(\partial N / \partial T)_B > 0 \quad \cdots \text{式(2)}$$

上記式(1)、式(2)中、Nは光導波路の屈折率、Tは温度(℃)である。

【0015】

なお、上記光導波路に用いられる各材料の屈折率温度係数は、 TiO_2 が $-7 \times 10^{-5} \text{℃}^{-1}$ 、 PbMoO_4 が $-4 \times 10^{-5} \text{℃}^{-1}$ 、 Ta_2O_5 が $-1 \times 10^{-5} \text{℃}^{-1}$ であり、 LiNbO_3 が $4 \times 10^{-5} \text{℃}^{-1}$ 、PLZTが $10 \times 10^{-5} \text{℃}^{-1}$ 、 SiO_xN_y が $1 \times 10^{-5} \text{℃}^{-1}$ である。

【0016】

2本の光導波路AとBは物理的長さ(物理長)が等しくなるように設けられている。また、2本のアーム光導波路aとbも物理的長さ(物理長)Lが等しくなるように設けられている。

【0017】

また、本実施形態のMZI型温度センサにおいては、 $\delta / \kappa \leq 0.2$ (式中、 δ は $(\beta_B - \beta_A) / 2$ 、 κ は結合定数であり、上記 β_A は光導波路Aの伝播定数、 β_B は光導波路Bの伝播定数)で示される関係を満たすことが、消光比を大きくできるため出力が計り易く、また、温度変化をアナログ処理するときの温度

分解能を大きくできる点で好ましく、さらに好ましくは $\delta/\kappa \leq 0.1$ なる関係を満たすことが消光比 30 dB 以上とすることができる点で好ましい。

$\delta/\kappa \leq 0.2$ なる関係を満たすには、上記 δ を小さくするか、あるいは上記 κ を大きくすればよい。上記 δ を小さくするには、例えば、光導波路 A や B の断面形状を変更すればよい。また、上記 κ を大きくするには、上記方向性結合器 13 a や 13 b のところの 2 本の光導波路 A と B の間隔を狭くすればよい。

このような MZ I 型温度センサの光導波路に入射させる光としては、例えば、 $1.3\ \mu\text{m}$ または $1.55\ \mu\text{m}$ の波長が用いられる。

【0018】

次に、本実施形態の MZ I 型温度センサの動作について図 1 を用いて説明する。

なお、図 1 において $A_0 \sim A_3$ 、 $B_0 \sim B_3$ は、MZ I 型温度センサにおける各位置を示すものある。

A_0 は光導波路 A の一端部側に設けられた第 1 の入力ポート 22 a の位置（光導波路 A に入射前の位置）、 A_1 は導波路 A における一点であって、第 1 の入力ポート側の 3 dB 方向性結合器 13 a の直後の位置、 A_2 は導波路 A における一点であって、光導波路 A の他端部側の 3 dB 方向性結合器 13 b の直前の位置、 A_3 は光導波路 A の他端部側に設けられた第 1 の出力ポート 22 c の位置である。

B_0 は光導波路 B の一端部側に設けられた第 2 の入力ポート 22 b の位置（光導波路 B に入射前の位置）、 B_1 は導波路 B における一点であって、第 2 の入力ポート側の 3 dB 方向性結合器 13 a の直後の位置、 B_2 は導波路 B における一点であって、光導波路 B の他端部側の 3 dB 方向性結合器 13 b の直前位置、 B_3 は光導波路 A の他端部側に設けられた第 2 の出力ポート 22 d の位置である。

【0019】

温度変化無しの場合（温度変化前の状態）に、第 1 の入力ポート 22 a から例えば $1.55\ \mu\text{m}$ の波長の光 R を入射すると、この光 R は第 2 の出力ポート 22 d から出射される。なお、この場合の $A_0 \sim A_3$ と $B_0 \sim B_3$ の各位置での入射光、出射光パワー、位相シフト量（あるいは波動複素振幅）を以下に示す。この

場合の 3 dB 方向性結合器 13a と 13b の結合率はいずれも 0.5 のときである。

【0020】

A_0 での入射光パワー 1

A_1 での波動複素振幅 $(1/\sqrt{2}) e^{i \cdot 0}$

A_2 での波動複素振幅 $(1/\sqrt{2}) e^{i \cdot 0}$

A_3 での出射光パワー 0

それは

$$\begin{aligned} & (1/\sqrt{2}) \times (1/\sqrt{2}) e^{i \cdot 0} \\ & + (1/\sqrt{2}) \times (1/\sqrt{2}) e^{i \cdot (-\pi/2)} \\ & = 0 \text{ となるからである。} \end{aligned}$$

【0021】

B_0 での入射光パワー 0

B_1 での波動複素振幅 $(1/\sqrt{2}) e^{i \cdot (-\pi/2)}$

B_2 での波動複素振幅 $(1/\sqrt{2}) e^{i \cdot (-\pi/2)}$

B_3 での出射光パワー 1

それは

$$\begin{aligned} & (1/\sqrt{2}) \times (1/\sqrt{2}) e^{i \cdot (-\pi/2)} \\ & + (1/\sqrt{2}) \times (1/\sqrt{2}) e^{i \cdot (-\pi/2)} \\ & \text{となり、} |B_3|^2 = 1 \text{ となるからである。} \end{aligned}$$

【0022】

温度変化有りの場合、2本のアーム光導波路 a、b は両方とも温度が上昇する。この場合、2本のアーム光導波路 a、b は上記のように屈折率温度係数が互いに異符号を示すものであるので、屈折率温度係数が同じ材料から構成した光導波路を用いた従来の MZI 型温度センサに比べて 2本のアーム光導波路の有効光路長差が大きくなり、温度変化が小さくても（低い温度でも）温度変化の検知に必要な伝搬光位相シフト量として π だけシフトさせることができ、従って、第 1 の入力ポート 22a から例えば $1.55 \mu\text{m}$ の波長の光 R を入射すると、この光 R は第 1 の出力ポート 22c から出射される。この光 R の出力光パワーは温度に対

して周期的に変化するが、1周期の中では温度と出射光パワーは1対1に対応しているため光強度から温度を求めることができる。

なお、この場合の $A_0 \sim A_3$ と $B_0 \sim B_3$ の各位置での入射光及び出射光パワー、位相シフト量（あるいは波動複素振幅）を下記に示す。

ここで示す例は、 $\Delta \phi_A, B = \Delta \phi_B - \Delta \phi_A = \pi$ （ $\Delta \phi_A$ は加熱されたアーム光導波路aを通過する入射光の位相差、 $\Delta \phi_B$ は加熱されたアーム光導波路bを通過する入射光の位相差）となる温度まで温度が上昇し、しかも $L_A = L_B = L$ （ L_A はアーム光導波路aの物理的長さ、 L_B はアーム光導波路bの物理的長さ）、 $N_A \neq N_B$ （ N_A は光導波路Aの屈折率、 N_B は光導波路Bの屈折率）、 $\Delta \phi_A < 0$ 、 $\Delta \phi_B > 0$ である場合である。

【0023】

A_0 での入射光パワー1

A_1 での波動複素振幅 $(1/\sqrt{2}) e^{i \cdot 0}$

A_2 での波動複素振幅 $(1/\sqrt{2}) e^{i \cdot \Delta \phi_A}$

A_3 での出射光パワー1

それは

$$(1/\sqrt{2}) \times (1/\sqrt{2}) e^{i \cdot \Delta \phi_A} \\ + (1/\sqrt{2}) \times (1/\sqrt{2}) e^{i \cdot (-\pi + \Delta \phi_B)}$$

（この式中、 $\Delta \phi_A$ は $\Delta \phi_A$ を表し、 $\Delta \phi_B$ は $\Delta \phi_B$ を表す。）となり、ここでは、 $\Delta \phi_A, B = \Delta \phi_B - \Delta \phi_A = \pi$ であるので、従って $|A_3|^2 = 1$ となるからである。

【0024】

B_0 での入射光パワー0

B_1 での波動複素振幅 $(1/\sqrt{2}) e^{i \cdot (-\pi/2)}$

B_2 での波動複素振幅 $(1/\sqrt{2}) e^{i \cdot ((-\pi/2) + \Delta \phi_B)}$

B_3 での出射光パワー0

それは

$$(1/\sqrt{2}) \times (1/\sqrt{2}) e^{i \cdot (\Delta \phi_A - \pi/2)} \\ + (1/\sqrt{2}) \times (1/\sqrt{2}) e^{i \cdot ((-\pi/2) + \Delta \phi_B)}$$

(この式中、 $\Delta \phi_A$ は $\Delta \phi_A$ を表し、 $\Delta \phi_B$ は $\Delta \phi_B$ を表す。)となるので、ここでは $\Delta \phi_A, B = \Delta \phi_B - \Delta \phi_A = \pi$ であるので、従って、 $|B_3|^2 = 0$ となるからである。

【0025】

なお、 ϕ_A は下記式(3-A)で計算でき、 ϕ_B は下記式(3-B)で計算できる。

$$\phi_A = (2\pi L / \lambda) N_A \quad \cdots \text{式(3-A)}$$

上記式(3-A)中、Lはアーム光導波路aの物理的長さ、 N_A は光導波路Aの屈折率である。

$$\phi_B = (2\pi L / \lambda) N_B \quad \cdots \text{式(3-B)}$$

上記式(3-B)中、Lはアーム光導波路bの物理的長さ、 N_B は光導波路Bの屈折率である。

また、 $\Delta \phi_A$ は下記式(3-1)で計算でき、 $\Delta \phi_B$ は下記式(3-2)で計算できる。

$$\Delta \phi_A = (2\pi L / \lambda) (\partial N / \partial T)_A \Delta T \quad \cdots \text{式(3-1)}$$

上記式(3-1)中、Lはアーム光導波路aの物理的長さ、 λ は入射光の波長、 ΔT は温度の変化量である。

【0026】

$$\Delta \phi_B = (2\pi L / \lambda) (\partial N / \partial T)_B \Delta T \quad \cdots \text{式(3-2)}$$

上記式(3-2)中、Lはアーム光導波路bの物理的長さ、 λ は入射光の波長、 ΔT は温度の変化量である。

また、 $\Delta \phi_{A, B}$ は下記式(3-C)で計算できる。

$$\begin{aligned} \Delta \phi_{A, B} &= (2\pi / \lambda) \{ (\partial / \partial T) (LN_B) - (\partial / \partial T) (LN_A) \} \Delta T \\ &= (2\pi / \lambda) \{ (\partial L / \partial T) N_B + L (\partial N_B / \partial T) \\ &\quad - (\partial L / \partial T) N_A + L (\partial N_A / \partial T) \} \Delta T \\ &= (2\pi / \lambda) [L \{ \partial N_A / \partial T \} + (\partial N_B / \partial T) \} \\ &\quad + (N_B - N_A) (\partial L / \partial T)] \Delta T \\ &\doteq (2\pi / \lambda) [L \{ \partial N_A / \partial T \} + (\partial N_B / \partial T) \}] \\ &\quad \cdots \text{式(3-C)} \end{aligned}$$

【0027】

本実施形態のMZI型温度センサは、屈折率温度係数が互いに異符号を示す2本の光導波路AとBが備えられたことにより、2本の光導波路の物理的長さの差を同じにした場合、同じ材料から構成した2本の光導波路（言い換えれば屈折率温度係数が同じ材料から構成した2本の光導波路）を用いた従来のMZI型温度センサに比べて、温度が変化したときの2本のアーム光導波路の有効光路長差を大きくでき、伝搬光の位相シフト量も大きくできる。

また、本実施形態のMZI型温度センサは、温度変化量が小さくても温度変化の検知に必要な伝搬光の位相シフト量が得られるので、同じ材料から構成した2本の光導波路を用いた従来のMZI型温度センサに比べて温度感度が優れる。

【0028】

それは、同じ材料の2本の光導波路を用いた従来のMZI型温度センサでは、温度変化の検知に必要な伝搬光の位相シフト量が π であるとき、位相を π だけシフトさせるに必要な温度の変化量 $(\Delta T)_{\pi}$ は、下記式(4-1)で計算できる。

$$(\Delta T)_{\pi} = \lambda / [2 \{ \Delta L (\partial N / \partial T) + N (\partial \Delta L / \partial T) \}] \quad \dots \text{式 (4-1)}$$

上記式(4-1)中、Lはアーム光導波路の物理的長さ、 λ は入射光の波長である。なお、ここでの従来のMZI型温度センサのアーム光導波路や屈折率等の条件は、 $L_A < L_B$ 、 $L_B = L_A + \Delta L$ 、 $N_A = N_B = N$ 、 $(\partial N / \partial T)_A = (\partial N / \partial T)_B = (\partial N / \partial T)$ である。

例えば、上記の従来のMZI型温度センサに用いる2本の光導波路の材料としてLiNbO₃（屈折率 $N=2.2$ 、 $(\partial N / \partial T) = 4 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ）を採用し、 $\Delta L = 0.01 \text{ cm}$ 、 $L_A = 5 \text{ cm}$ 、 $\lambda = 0.633 \text{ } \mu\text{m}$ 、 $(\partial \Delta L / \partial T) = 1.6 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ とすると、式(4-1)から $(\Delta T)_{\pi} = 4.2 \text{ } ^\circ\text{C}$ となる。

【0029】

これに対して本実施形態のMZI型温度センサでは、温度変化の検知に必要な伝搬光の位相シフト量が π であるとき、位相を π だけシフトさせる $(\Delta \phi_B - \Delta$

$\phi_A = \pi$) に必要な温度の変化量 $(\Delta T)_\pi$ は、下記式 (5) で計算できる。(なお、(5) 式は図 1 のように $L_A = L_B$ の場合である。 $L_A < L_B$ の場合は図 4 に示すような場合であるので、後述の第 2 の実施形態で説明する。)

$$(\Delta T)_\pi = \lambda / [2L \{ (\partial N / \partial T)_B + | (\partial N / \partial T)_A | \}] \quad \dots \text{式 (5)}$$

上記式 (5) 中、 L はアーム光導波路の物理的長さ、 λ は入射光の波長である。

このように式 (5) の分母は、式 (4) の分母より大きいので、本実施形態の MZ I 型温度センサの $(\Delta T)_\pi$ は、従来の MZ I 型温度センサの $(\Delta T)_\pi$ より小さくなる。

例えば、本実施形態の MZ I 型温度センサに用いる光導波路 A の材料として TiO_2 (屈折率 $N_A = 2.2$ 、 $(\partial N / \partial T)_A = -7 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) を採用し、光導波路 B の材料として SiO_xN_y (屈折率 $N_B = 1.48 \sim 1.9$ 、 $(\partial N / \partial T)_B = 1 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) を採用し、 $L = 5 \text{ cm}$ 、 $\lambda = 0.633 \text{ } \mu\text{m}$ とすると、式 (5) から $(\Delta T)_\pi < 0.1 \text{ } ^\circ\text{C}$ となる。

従って、本実施形態の MZ I 型温度センサは、従来の MZ I 型温度センサよりも低い温度で温度変化を検知できる。

【0030】

また、本実施形態の MZ I 型温度センサは、2 本の光導波路 A、B の材料として屈折率温度係数が互いに異符号を示すものを選択すればよいので、構造や製造工程が簡略であり、量産向きである。

また、本実施形態の MZ I 型温度センサでは、上記のように 2 本のアーム光導波路は物理的長さが略等しくてもよいので、2 本のアーム光導波路を近づけることができ、曲げ角度も少なく済み、光損失を小さくできるうえ、オフセットもなく、コンパクト化が可能である。

【0031】

(第 2 の実施形態)

図 4 は、本発明に係る第 2 の実施形態の MZ I 型温度センサの概略構成を示す平面図である。

第2の実施形態のMZI型温度センサが、図1乃至図3に示した第1の実施形態のMZI型温度センサと異なるところは、光導波路Aと光導波路B'は物理的長さが異なる点であり、詳しくは光導波路Aのアーム光導波路aの物理長よりも光導波路B'のアーム光導波路b'の物理長が長くされた点である。

本実施形態においても光導波路Aは、第1の実施形態で用いたものと同様の屈折率温度係数が負の材料からなるものであり、光導波路B'は第1の実施形態で光導波路Bで用いたものと同様の屈折率温度係数が正の材料からなるものである。

下記式(6)にアーム光導波路aとアーム光導波路b'の物理的長さの関係を示す。

$$L_B = L_A + \Delta L \quad \cdots \text{式(6)}$$

上記式(6)中、 L_A はアーム光導波路aの物理的長さ、 L_B はアーム光導波路b'の物理的長さ、 ΔL は L_B と L_A の差である。

【0032】

本実施形態では、 $\Delta \phi_{A, B}$ は下記式(3-D)で計算できる。

$$\begin{aligned} \Delta \phi_{A, B} &= (2\pi/\lambda) \{ (\partial/\partial T)(L_B N_B) - (\partial/\partial T)(L_A N_A) \} \Delta T \\ &= (2\pi/\lambda) \{ (\partial L_B/\partial T) N_B + L_B (\partial N_B/\partial T) \\ &\quad - (\partial L_A/\partial T) N_A + L_A (\partial N_A/\partial T) \} \Delta T \\ &= (2\pi/\lambda) [\{ L_B (\partial N_B/\partial T) + L_A (\partial N_A/\partial T) \} \\ &\quad + \{ N_B (\partial L_B/\partial T) - N_A (\partial L_A/\partial T) \}] \Delta T \end{aligned} \quad \cdots \text{式(3-D)}$$

【0033】

本実施形態のMZI型温度センサでは、温度変化の検知に必要な伝搬光の位相シフト量が π であるとき、位相を π だけシフトさせる($\Delta \phi_B - \Delta \phi_A = \pi$)に必要な温度の変化量 $(\Delta T)_\pi$ は、下記式(7)で計算できる。

$$\begin{aligned} (\Delta T)_\pi &= \lambda / [2 \{ L_B (\partial N/\partial T)_B + L_A (\partial N/\partial T)_A \} \\ &\quad + [N_B (\partial L_B/\partial T) - N_A (\partial L_A/\partial T)]] \end{aligned} \quad \cdots \text{式(7)}$$

上記式(7)中、 L_A はアーム光導波路aの物理的長さ、 L_B はアーム光導波

路 b' の物理的長さ、 λ は入射光の波長である。

このように式 (7) の分母は、上記式 (4) の分母より大きいので、本実施形態の MZ I 型温度センサの $(\Delta T)_\pi$ は、従来の MZ I 型温度センサの $(\Delta T)_\pi$ より小さくなる。

【0034】

例えば、本実施形態の MZ I 型温度センサに用いる光導波路 A の材料として TiO_2 (屈折率 $N_A = 2.2$ 、 $(\partial N / \partial T)_A = -7 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) を採用し、光導波路 B' の材料として SiO_xN_y (屈折率 $N_B = 1.48 \sim 1.9$ 、

$(\partial N / \partial T)_B = 1 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) を採用し、 $L_A = 5 \text{ cm}$ 、 $L_B = 5.01 \text{ cm}$ 、 $\Delta L = 0.01 \text{ cm}$ 、 $\lambda = 0.633 \text{ } \mu\text{m}$ とすると、式 (7) から $(\Delta T)_\pi < 0.1 \text{ } ^\circ\text{C}$ となる。

【0035】

【実施例】

δ / κ を $0.01 \sim 0.5$ の範囲で変更した以外は図 1 乃至図 3 に示した第 1 の実施形態と同様の MZ I 型温度センサを作製した。この MZ I 型温度センサの 3 dB 方向性結合器の結合器パラメータ条件は、 $q l = \pi / 4$ である。上記式中、 q は有効結合定数、 l (エル) は方向性結合器の結合長さ、 π は位相シフト量である。作製した MZ I 型温度センサの消光比について調べた。ここでの消光比は、第 1 の入力ポート 22a から $1.55 \text{ } \mu\text{m}$ の入射光を入射し、第 1 の出力ポートの出射パワーを測定し、位相シフトを電極電圧を置き換えることにより調べた。

その結果を図 5 乃至図 8 に示す。

図 5 は、 $\delta / \kappa = 0.01$ としたときの MZ I 型温度センサの位相シフト量 (rad) と相対出力光強度 (dB) の関係を示すグラフである。

図 6 は、 $\delta / \kappa = 0.1$ としたときの MZ I 型温度センサの位相シフト量 (rad) と相対出力光強度 (dB) の関係を示すグラフである。

図 7 は、 $\delta / \kappa = 0.2$ としたときの MZ I 型温度センサの位相シフト量 (rad) と相対出力光強度 (dB) の関係を示すグラフである。

図8は、 $\delta/\kappa = 0.5$ としたときのMZI型温度センサの位相シフト量（rad）と相対出力光強度（dB）の関係を示すグラフである。

【0036】

図5乃至図8に示した結果から $\delta/\kappa = 0.5$ とした比較例のMZI型温度センサは、消光比が14 dBしか得られないが、 $\delta/\kappa \leq 0.2$ とした実施例のMZI型温度センサでは、消光比が28 dB程度以上得られており、特に、 $\delta/\kappa \leq 0.1$ とした実施例のMZI型温度センサでは、消光比が40 dB程度以上得られており、従って、実用上好ましいとされる30 dB以上の消光比が得るには、 $\delta/\kappa \leq 0.1$ とすることが好ましいことがわかる。

【0037】

【発明の効果】

以上説明したように本発明のMZI型温度センサによれば、2本の光導波路として屈折率温度係数が互いに異符号を示すものが用いられたことにより、温度感度が優れたMZI型温度センサを実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 図1は、本発明に係る第1の実施形態のMZI型温度センサの概略構成を示す平面図。

【図2】 図2は図1のII-II線断面図。

【図3】 図3は図1のIII-III線断面図。

【図4】 図4は、本発明に係る第2の実施形態のMZI型温度センサの概略構成を示す平面図。

【図5】 図5は、 $\delta/\kappa = 0.01$ のときのMZI型温度センサの位相シフト量と相対出力光強度の関係を示すグラフ。

【図6】 図6は、 $\delta/\kappa = 0.1$ としたときのMZI型温度センサの位相シフト量と相対出力光強度の関係を示すグラフ。

【図7】 図7は、 $\delta/\kappa = 0.2$ としたときのMZI型温度センサの位相シフト量と相対出力光強度の関係を示すグラフ。

【図8】 図8は、 $\delta/\kappa = 0.5$ としたときのMZI型温度センサの位相シフト量と相対出力光強度の関係を示すグラフ。

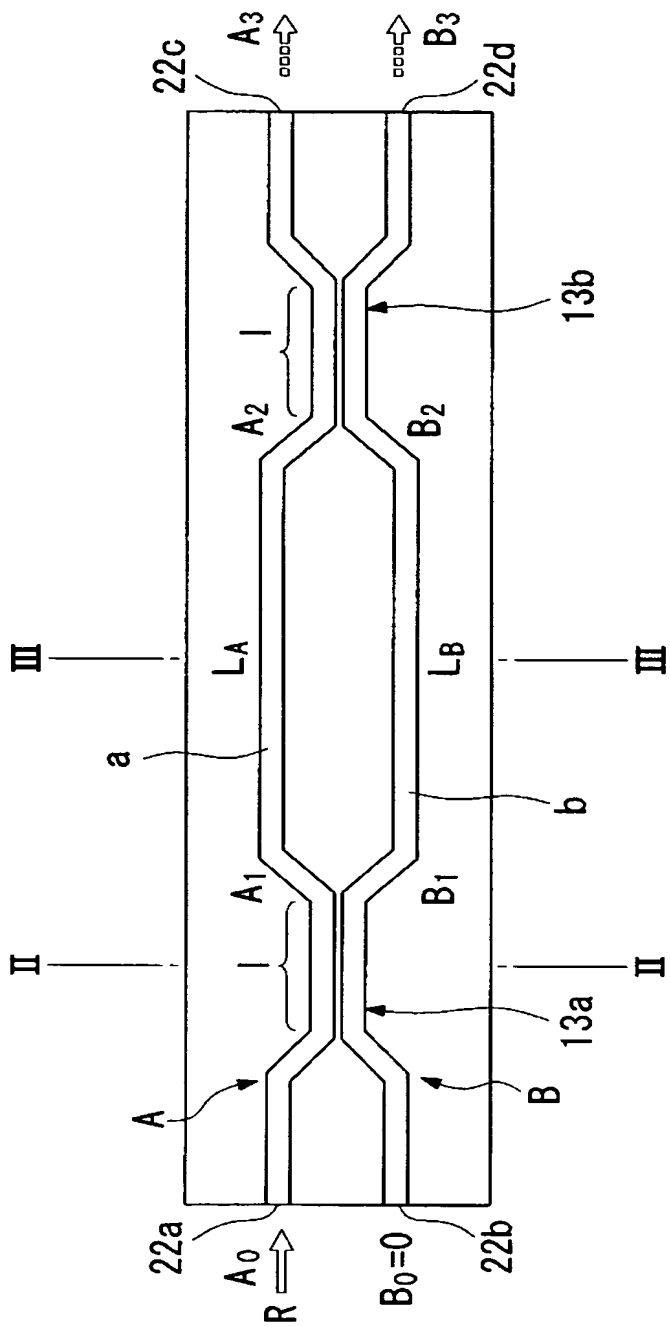
【図 9】 従来の MZ I 型温度センサの例を示す平面図。

【符号の説明】

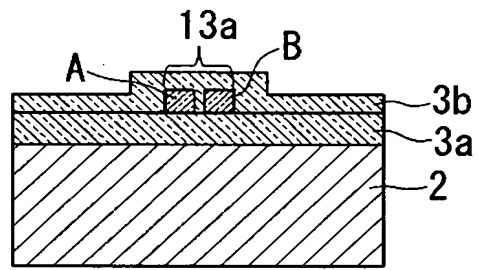
A, B, B' …光導波路、a, b, b' …アーム光導波路、2 …基板、3 a …下部クラッド層、3 b …上部クラッド層、1 3 a …方向性結合器、1 3 b …方向性結合器、2 2 a …第 1 の入力ポート、2 2 b …第 2 の入力ポート、2 2 c …第 1 の出力ポート、2 2 d …第 2 の出力ポート。

【書類名】 図面

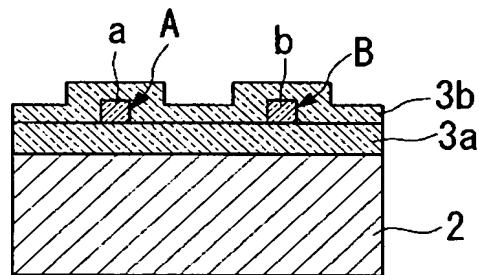
【図 1】



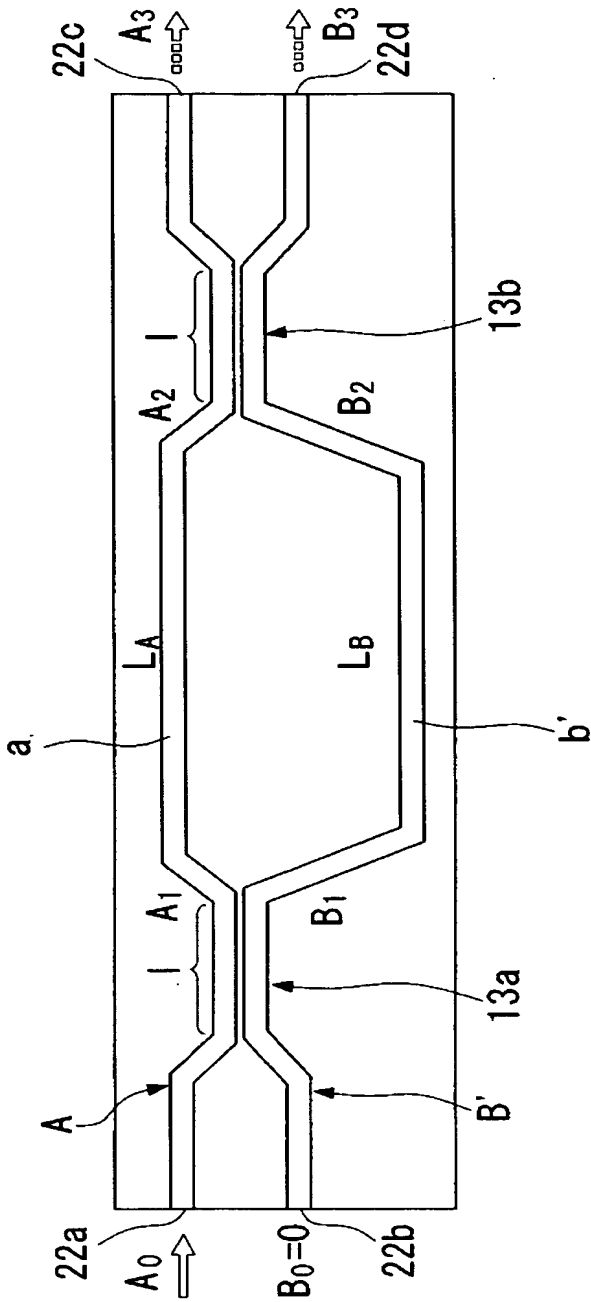
【図 2】



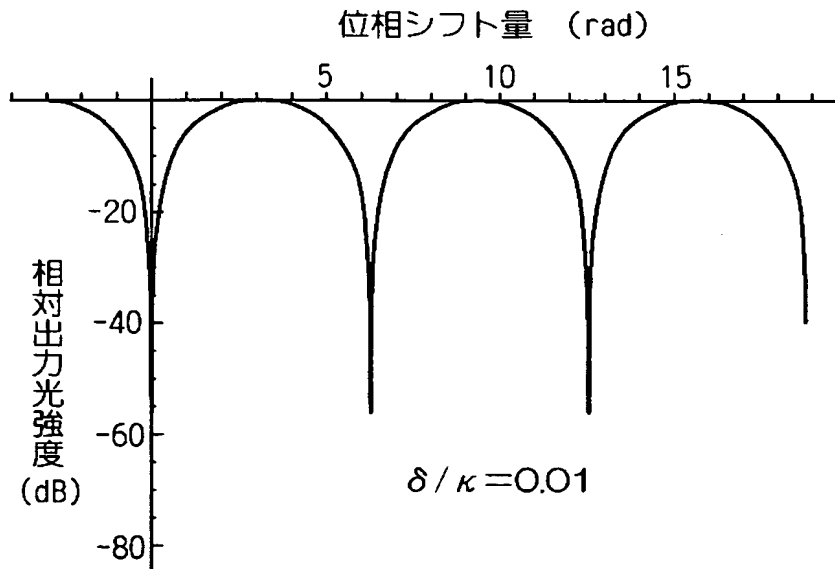
【図 3】



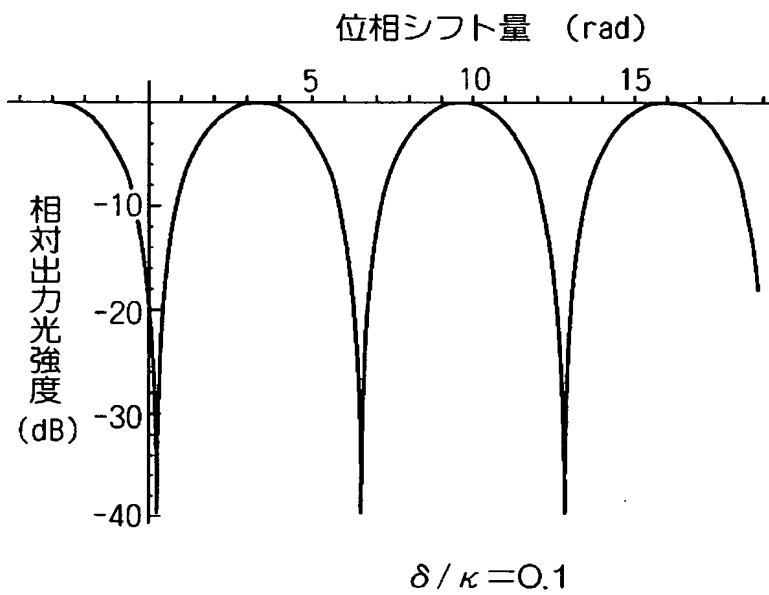
【図 4】



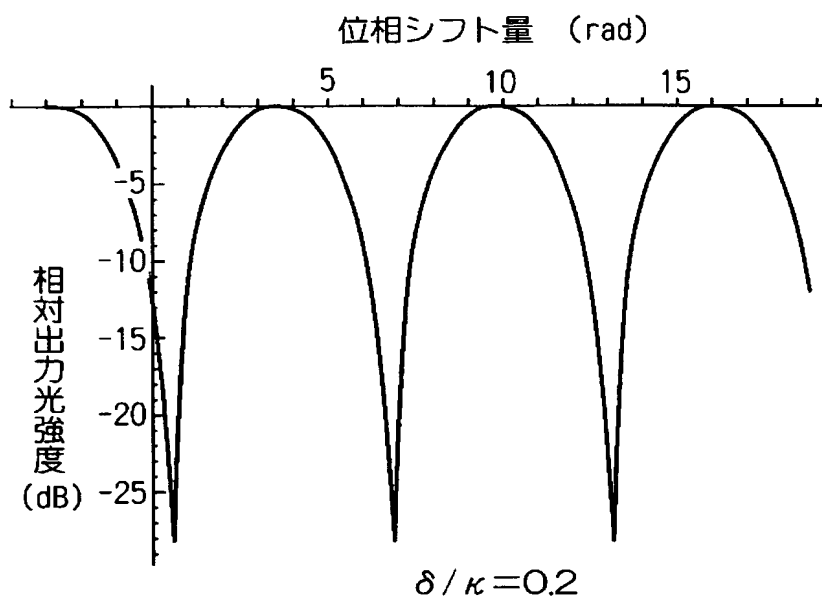
【図 5】



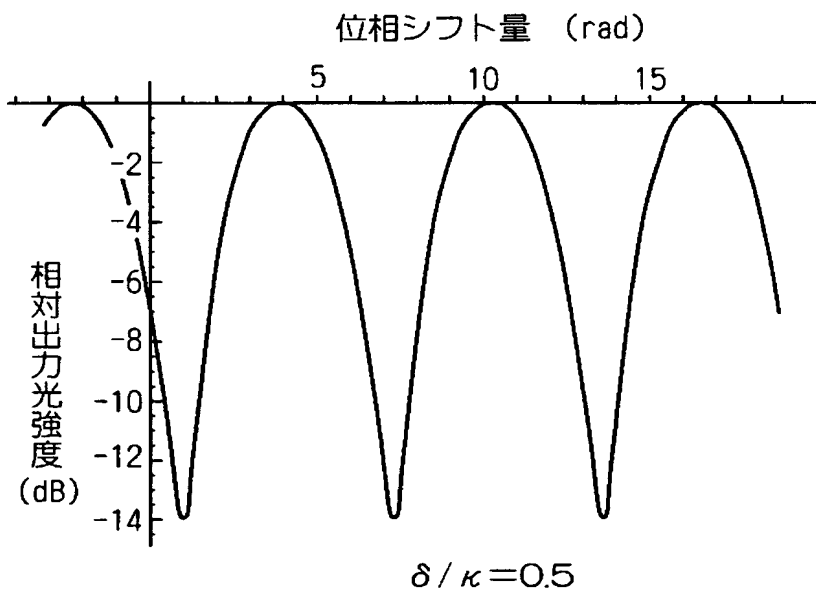
【図 6】



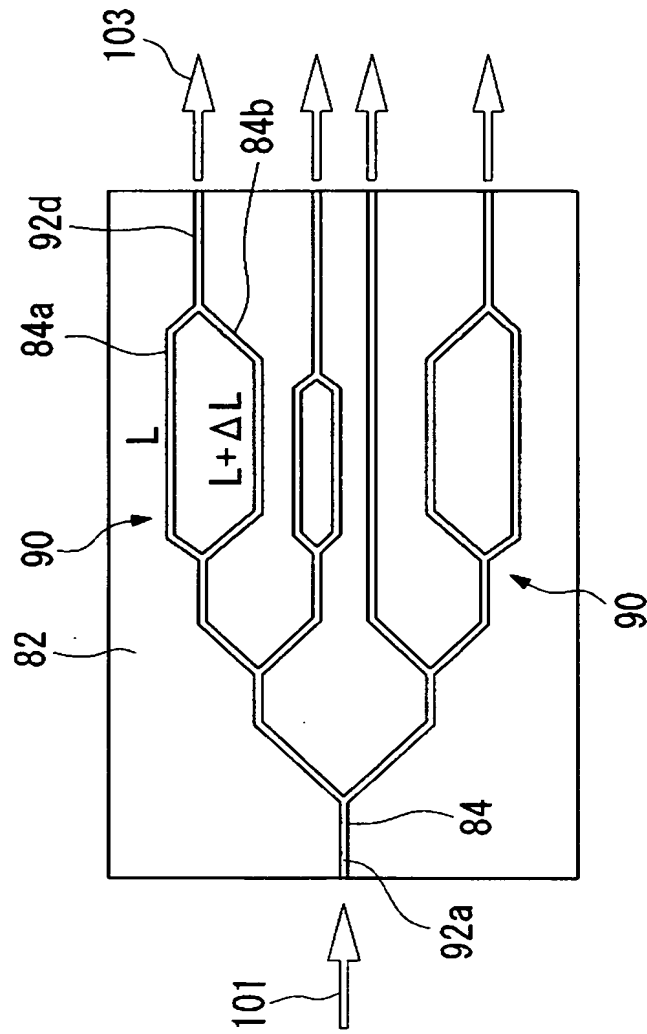
【図 7】



【図 8】



【図 9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 温度変化量が小さくても温度変化の検知に必要な位相シフト量を得ることができ、温度感度が優れた M Z I 型温度センサの提供。

【解決手段】 2 本の光導波路 A、B が 2 カ所で近接されて方向性結合器 1 3 a、1 3 b が 2 カ所設けられるとともにこれら方向性結合器間に 2 本のアーム光導波路 a、b が設けられ、上記 2 本の光導波路 A、B は屈折率温度係数が互いに異符号を示す材料から構成された M Z I 型温度センサ。

【選択図】 図 1

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 3 - 1 2 5 3 5 2
受付番号	5 0 3 0 0 7 2 3 3 5 2
書類名	特許願
担当官	第一担当上席 0 0 9 0
作成日	平成 1 5 年 5 月 1 日

< 認定情報・付加情報 >

【特許出願人】

【識別番号】	000010098
【住所又は居所】	東京都大田区雪谷大塚町 1 番 7 号
【氏名又は名称】	アルプス電気株式会社

【代理人】

申請人

【識別番号】	100064908
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場 3 丁目 2 3 番 3 号 O R ビ ル 志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】	志賀 正武

【選任した代理人】

【識別番号】	100108578
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場 3 丁目 2 3 番 3 号 O R ビ ル 志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】	高橋 詔男

【選任した代理人】

【識別番号】	100089037
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場 3 丁目 2 3 番 3 号 O R ビ ル 志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】	渡邊 隆

【選任した代理人】

【識別番号】	100101465
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場 3 丁目 2 3 番 3 号 O R ビ ル 志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】	青山 正和

【選任した代理人】

【識別番号】	100094400
【住所又は居所】	東京都新宿区高田馬場 3 丁目 2 3 番 3 号 O R ビ ル 志賀国際特許事務所

次頁有

認定・付加情報（続き）

【氏名又は名称】 鈴木 三義
【選任した代理人】
【識別番号】 100107836
【住所又は居所】 東京都新宿区高田馬場 3 丁目 2 3 番 3 号 O R ビ
ル 志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】 西 和哉
【選任した代理人】
【識別番号】 100108453
【住所又は居所】 東京都新宿区高田馬場 3 丁目 2 3 番 3 号 O R ビ
ル 志賀国際特許事務所
【氏名又は名称】 村山 靖彦

次頁無

特願 2 0 0 3 - 1 2 5 3 5 2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 1 0 0 9 8]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 7 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都大田区雪谷大塚町 1 番 7 号

氏 名

アルプス電気株式会社